

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/13>

УДК 630 + 58.009 : 58.02



Дневная и сезонная динамика интенсивности транспирации вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris* (L.) Hill) на юге ареала в Зауралье

Алена А. Кочубей ✉ 79326010873@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-8568-9999>Ольга Е. Черепанова, botgarden.olga@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7775-6488>Ирина В. Петрова, irina.petrova@botgard.uran.ru <https://orcid.org/0000-0001-5689-8452>

ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация

Зауралье является южной точкой ареала популяций вереска обыкновенного (*C. vulgaris*). Натурное экофизиологическое изучение интенсивности транспирации (ИТ) растений *C. vulgaris* проведено в связи с проблемой адаптации маргинальных популяций вида к засушливому климату. Исследования проводили в лесостепи Зауралья (Курганская область), где произрастает обильная популяция вереска. Дневной ход ИТ изучен на фоне комплекса зарегистрированных лимитирующих факторов среды эоклимата (скорость ветра, освещенность, динамика температуры и влажности воздуха, температура почвы) в течение одного вегетационного периода (с апреля по сентябрь 2016 г.) под пологом соснового леса и на смежной вырубке. Для изучения ИТ использовали годичные верхушечные побеги растений длиной 4 см в трехкратной повторности для каждого временного промежутка. Общий объем выборки в один день измерений составлял от 30–35 побегов. Интенсивность транспирации определяли методом быстрого взвешивания, при котором происходит учет потерянной побегом воды за определенный временной промежуток. При обработке данных использовали корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона (r)), который позволил уточнить силу и направление взаимодействия для двух непрерывных метрических переменных. Выявлены различия в суточном изменении ИТ у растений, произрастающих под пологом леса и на открытых участках. В условиях обычной в регионе длительной атмосферной и почвенной засухи, в 2016 г. отмечено резкое снижение ИТ вереска, начиная с 10 ч утра в течение всего периода вегетации, за исключением апреля, когда дефицит влаги в почве и тканях вереска был еще минимален. В мае максимальные значения ИТ на вырубке отмечены к 14 часам дня ($8,5 \text{ мг/ч} \times 10^{-4}$), тогда как под пологом древостоя пиковые значения ИТ начинаются с 10-ти часов утра ($12,7 \text{ мг/ч} \times 10^{-4}$). Дневная летняя транспирация у вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) отличается еще меньшей интенсивностью, чем весенняя ($(3\text{--}5 \text{ мг/г} \cdot \text{ч} \times 10^{-4})$). Выявлено, что определяющую роль на ИТ в различных типах леса играют параметры метеофакторов. На открытых участках вырубок определяющим фактором является ФАР ($0,81, p < 0,05$) и, в меньшей степени, температура атмосферного воздуха ($0,69, p < 0,05$), а под пологом древостоя – только показатели ФАР ($0,96, p < 0,05$). Снижение ИТ и, соответственно, фотосинтеза приводит к уменьшению жизнеспособности популяций и невызреванию семян, что является экофизиологическим фактором отсутствия вереска к югу от г. Кургана.

Ключевые слова: вереск обыкновенный, *Calluna vulgaris*, транспирация, Зауралье, динамика транспирации.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН (№ 1022040100468-6-1.6.11;1.6.20).

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кочубей А. А. Дневная и сезонная динамика интенсивности транспирации вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris* (L.) Hill) на юге ареала в Зауралье / А. А. Кочубей, О. В. Черепанова, И. В. Петрова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 4 (52). – Ч. 1. – С. 209–222. – Библиогр.: с. 219–222 (22 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/13>.

Поступила 19.02.2023. *Пересмотрена* 05.09.2023. *Принята* 27.11.2023. *Опубликована онлайн* 29.12.2023.

Article

Daily and season transpiration intensive of *Calluna vulgaris* (L.) Hill in the trans-Ural south area

Alena A. Kochubey, ✉ 79326010873@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-8568-9999>

Olga E. Cherepanova, botgarden.olga@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-7775-6488>

Irina V. Petrova, irina.petrova@botgard.uran.ru  <https://orcid.org/0000-0001-5689-8452>

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, March 8 st., 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

Abstract

The Trans-Ural region is the southern point of the common heather (*C. vulgaris*) range. Field ecophysiological study of *C. vulgaris* plants transpiration intensity (IT) was carried out in connection with the problem of marginal populations adaptation to arid climate. The research was carried out in the forest-steppe of the Trans-Ural region (Kurgan region), where an abundant population of heather grows. The daily variation of IT was studied taking into account a set of recorded ecoclimate limiting factors (wind speed, illumination, dynamics of air temperature and humidity, soil temperature) during one growing season (from April to September 2016) under the canopy of a pine forest and in the adjacent clearing. To study IT, annual apical shoots of plants 4 cm long were used in triplicate for each time period. The total sample size on one day of measurements ranged from 30–35 shoots. The transpiration rate was determined by the rapid weighing method, which takes into account the water lost by the shoot over a certain time period. When processing the data, we used correlation analysis (Pearson's correlation coefficient r), which made it possible to clarify the strength and direction of two continuous (metric) variables interaction. Differences in IT daily changes were revealed in plants growing under the forest canopy and in the open areas. Under conditions of long-term atmospheric and soil drought, which is common for the region, in 2016 a sharp decrease in heather water content was observed, starting from 10 a.m. throughout the entire growing season, with the exception of April, when the moisture deficit in the soil and heather tissues was still minimal. In May, maximum IT values in the clearing were noted at 14:00 ($8.5 \text{ mg/h} \times 10^{-4}$) whereas under the canopy of the tree stand, peak IT values begin at 10 a.m. ($12.7 \text{ mg/h} \times 10^{-4}$). Daytime summer transpiration in common heather (*C. vulgaris*) is even less intense than spring transpiration ($3\text{--}5 \text{ mg/h} \times 10^{-4}$). It was revealed that meteorological factors play a decisive role in IT in various types of forest. In open felled areas, the determining factor is PAR (0.81, $p < 0.05$) and, to a lesser extent, atmospheric temperature (0.69, $p < 0.05$), and under the canopy - only PAR (0.96, $p < 0.05$). A decrease in IT and, accordingly, photosynthesis leads to a decrease in the population's vitality and non-ripening of seeds, which is an ecophysiological factor of the heather absence south of Kurgan city.

Keywords: *Calluna vulgaris*, transpiration, Trans-Urals, transpiration dynamics.

Funding: The work was carried out within the framework of a state assignment the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 1022040100468-6-1.6.11; 1.6.20).

Acknowledgments: the authors thank the reviewers and editors for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Kochubey A.A., Cherepanova O.E., Petrova I.V. (2023). Daily and season transpiration intensive of *Calluna vulgaris* (L.) Hill in the Trans-Ural south area. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 4 (52), part 1, pp. 209-222 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/13>.

Received 19.02.2023. **Revised** 05.09.2023. **Accepted** 27.11.2023. **Published online** 29.12.2023

Введение

Транспирация – важнейший физиологический процесс у наземных растений, играющий ведущую роль в обеспечении энергетического и гидрологического баланса [1, 2]. Изучение механизмов транспирации растений и их взаимосвязи с особенностями морфолого-анатомического строения листа имеет первостепенное значение для понимания экологической устойчивости и адаптации к климатическим факторам [3-5]. Изменение климатических условий регистрируются для всей территории России, в том числе и для климата на Южном Урале и в Зауралье. Наиболее существенные изменения в температурном режиме и режиме осадконакопления произошли здесь в зимние месяцы. Климат стал более теплым, что привело к вертикальному и горизонтальному сдвигу растительности [6]. В связи с этим, огромный интерес представляет возможный адаптационный потенциал растений. Факторы, оказывающие влияние на продуктивность растений, такие, как повышение температуры воздуха, изменение гидрологического режима, в условиях глобальной климатической трансформации могут являться вероятной причиной перераспределения видов в экосистемах [7, 8]. По мере потепления, климат Зауралья в весенне-летний период становится сопоставим с климатом Северного Казахстана (рисунок 1). Это выражается в засушливой ранней весне, высокой ветровой нагрузке, смещении и расширении ареала южных видов животного и растительного мира, замещении хвойных пород деревьев лиственными. При аридизации климата динамика интенсивности транспирации растений становится основным лимитирующим фактором роста, развития и продуктивности растений [9-11].

Пограничное положение территории Зауралья между бореальной и степной зонами обуславливает значительное участие во флоре видов

как бореального, так и степного комплексов. Основные леса Зауралья занимают наиболее дренируемые местообитания, приуроченные к песчаным наносам неогена, что составляет около 30% среди покрытой лесом площади. Одним из характерных видов в составе травяно-кустарничкового яруса таких сосновых лесов является вереск обыкновенный (*C. vulgaris*). Юго-восточным пределом ареала распространения вереска обыкновенного (*C. vulgaris*), несмотря на выраженную ксерофитность данного вида, является северная лесостепь Зауралья. В борových массивах этот вечнозеленый вегетативно-подвижный кустарничек встречается широко, может произрастать под пологом леса, на старых гарях и вырубках [12, 13].

В настоящее время ареал, морфология, аутоэкология и физиология особой вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) всесторонне изучены [14, 15]. Согласно флористическим описаниям Н.И. Науменко (2008) и П.Л. Горчаковского (1962), южнее Зауралья вид встречается в отрыве от основного ареала только небольшими группами в борах Казахстанского мелкосопочника [9, 10]. В связи с проблемой адаптации маргинальных популяций вида к засушливому климату Зауралья были изучены в полевых условиях некоторые особенности одного из ведущих признаков водного режима растений – транспирации. Основная задача исследования заключалась в изучении в полевых условиях интенсивности транспирации вереска, произрастающего в разных условиях на территории Южного Зауралья. Кроме того, дополнительной задачей исследования стали оценка и сравнение климатических параметров (среднегодовая атмосферная температура, сумма годовых температур и др.) основного региона изучения (Курганская область) и граничащего с ним Северного Казахстана, для изучения их влияния друг на друга.

Представленная работа обобщает результаты натурального эксперимента, в рамках которого проведено сравнение интенсивности транспирации вереска, произрастающего на открытых участках и под пологом сосновых лесов.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования

Исследования по изучению дневной и сезонной интенсивности транспирации проводились в 2016 году в лесостепи Зауралья (Курганская область, окрестности пгт. Красный Октябрь). Модельными участками произрастания вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) были выбраны контрастные по режиму освещенности экотопы – открытая инсолируе-

мая вырубка (55°65'83"N, 64°79'52"E, 143 м над уровнем моря) и полог смежного сосняка чернично-вересково-зеленомошного (55°65'85.5"N, 64°79'39.1"E, 143 м над уровнем моря).

Полевые эксперименты по определению дневного и сезонного хода интенсивности транспирации листьев вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) проводились в течение периода вегетации – с конца апреля по начало сентября 2016 г. – на терминальных фотосинтезирующих побегах длиной 4 см. Побег вереска часто покрыт мелкими черепично расположенными листьями, размер которых не превышает 1,3 мм, что не позволяет исследовать каждый лист в отдельности.

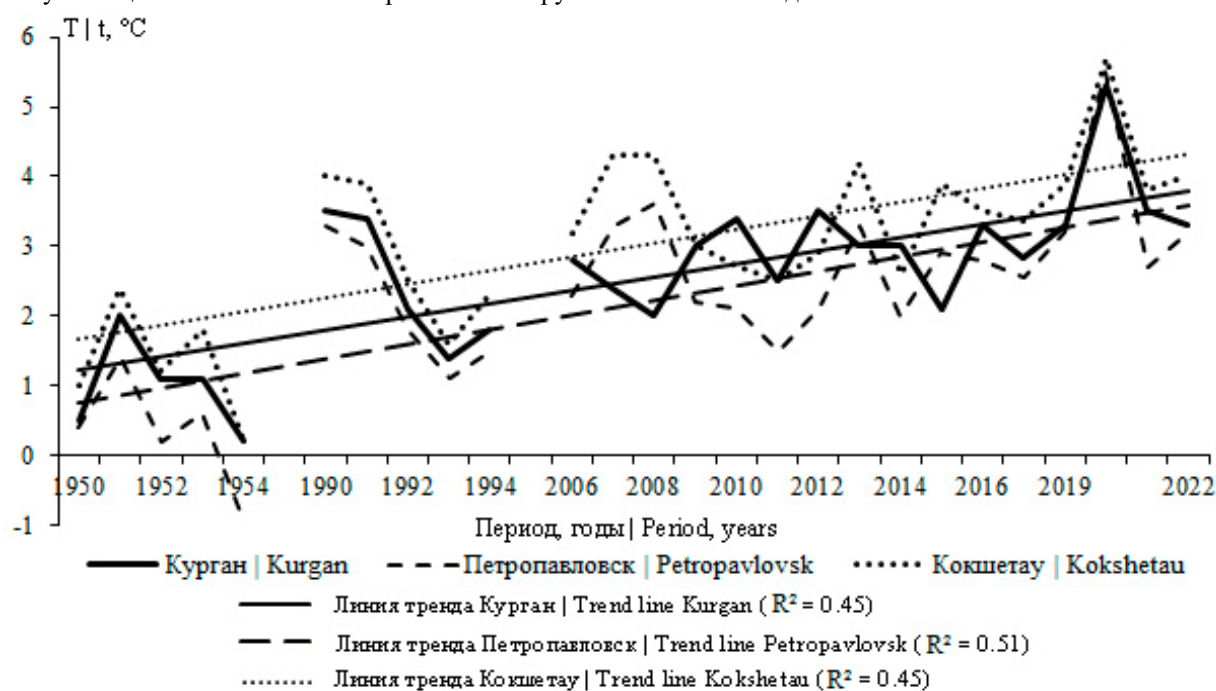


Рисунок 1. Динамика среднегодовых температур в Зауралье (Курган) и Северном Казахстане (Петропавловск, Кокшетау).

Figure 1. An average annual temperatures dynamics in the Trans-Urals (Kurgan) and Northern Kazakhstan (Petropavlovsk, Kokshetau).

Источник: сайт «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru>)

Source: Website of Pogodaiklimat.ru

Сбор данных

Интенсивность транспирации определяли методом быстрого взвешивания. В основе метода лежит учет количества воды, потерянной листом за короткий промежуток времени (1-5 мин в зависимости от условий опыта) в результате транспирации. При этом изменение массы листа следует учитывать до

начала его завядания [16]. Простота метода позволяет изучать адаптационные механизмы растений в полевых условиях без дорогостоящего оборудования. По данной методике измерения проводятся с помощью электронных весов до тех пор, пока вес листа не стабилизируется, что свидетельствует о закрытии устьиц и начале процесса завядания. Побеги

с листьями вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) срезами с открытой освещенной стороны каждого растения, взвешивали на электронных лабораторных весах (Digital jewelry scale, Китай, 50g/0,001 g) и экспонировали в том же месте. Измерения проводили в трехкратной повторности, время экспозиции составляло 5 мин.

Наблюдения ИТ повторяли через каждые 2 часа с 10 до 18 часов дня. Экспериментальные данные показали, что до 8 часов утра, а также после 18 часов вечера, транспирация листьев идет слабо, что позволило исключить эти временные интервалы. Интенсивность транспирации определяли на фоне синхронной регистрации ФАР (фотосинтетически активной радиации, лк) люксметром «ТКА-ПКМ» (31) (ООО НТП «ТКА», Россия), температуры мини-регистратором Data Loggers (Термохрон, Dallas Semiconductor, США), относительной влажности воздуха термогигрометром AR-807 (Smart Sensor, Китай) и скорости ветра анемометром Testo 410-2 (Testo SE & Co, Германия). Определения интенсивности транспирации проводили в солнечные и безоблачные дни, выпадение июня произошло вследствие дождливой погоды в предполагаемый день замера.

Расчет интенсивности транспирации (мг воды/г*ч) проводился по формуле $I = (m_1 - m_2) / m_0 * t$, где m_1 – начальный вес побега (мг), m_2 – масса побега через 5 минут (мг), m_0 – абсолютно сухой вес побега (г), t – продолжительность транспирации (ч). В лабораторных условиях определяли абсолютно сухой вес и процент облиственности каждого образца [16, 17].

Оценку климатических параметров (среднегодовая атмосферная температура, сумма отрицательных и положительных годовых температур, максимумы и минимумы средних ежемесячных температур) проводили с использованием открытых материалов метеорологических баз данных (<http://www.pogodaiklimat.ru>) за 70-летний период с 1950 по 2022 год с трех метеорологических станции: Курган (Россия), Петропавловск и Кокшетау (Казахстан).

Анализ данных

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета программ Excel, (Microsoft, США), Statistica 10.0 portable (StatSoft, Russia). Для расчета корреляции использовали коэффициент корреляции Пирсона (r), который позволяет уточнить силу и направление взаимодействия для двух непрерывных (метрических переменных), измеренных на одной и той же выборке. Нулевая гипотеза: интенсивность транспирации не зависит от влажности и уровня освещенности.

В целях визуализации данных были использованы график «ящик с усами», позволяющий оценить форму распределения, среднее, медиану, квартили и вероятные выбросы для набора данных. Методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) оценили различия средних значений между группами (Tukey test). Визуализацию корреляционной матрицы провели с использованием цветовой шкалы, реализованной в пакете программ Excel.

Результаты

Основные результаты исследований интенсивности транспирации вереска обыкновенного (*C. vulgaris*), представленные в табл. 1 и на рис. 2, позволяют сделать следующие выводы. Следствием засухи 2016 г. был крайний дефицит влаги в песчаных почвах соснового леса. Почвенная объемная влажность в июле 2016 г. на глубине 5–10 см понижалась до уровня 3–5% на вырубке и до 2–3% в лесу (близкого к влажности завядания растений) под влиянием корневой конкуренции древостоя [18, 19]. В дни измерений скорость ветра не превышала 3 м/с, что характеризуется как «тихий» или «легкий». Влажность воздуха в районе цветоносов вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) на открытой вырубке только по утрам превышала таковую под покровом леса.

Относительно высокая ИТ вереска обыкновенного (*C. vulgaris*), составляющая $9\text{--}15 \text{ мг/г*ч} \times 10^{-4}$, довольно тесно ($r=0,81$, $p<0,05$, табл. 2) коррелирующая с ФАР в суточном ходе, наблюдалась на открытом месте с 10 до 13 ч. В несколько меньшей мере ($5\text{--}14 \text{ мг/г*ч} \times 10^{-4}$), но дольше в течение дня (до 16 ч) высокая ИТ зафиксирована под пологом древостоя лишь в апреле, при достаточной влагообеспеченности почвы (10–12%) в его ризосфере.

Таблица 1

Параметры метеофакторов и интенсивности транспирации вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) в экотопах сплошной вырубке и под пологом леса в северной лесостепи Зауралья

Table 1

Meteorological factors parameters and heather transpiration intensity in Clearcut Ecotopes and Under Forest Canopy in the Northern Forest-Steppe of the Trans-Urals

Время измерений, час Measurement time, hour	Вырубка Deforestation							Полог леса Forest canopy						
	ИТ, (мг/г*ч)*10 ⁻⁴ ТТ, (мг/г*ч)*10 ⁻⁴	Весов. Доля листьев, % Weight fraction of leaves, %	Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s	ФАР, лк PAR	Влажность возд., % Air humidity, %	Температура Temperature, °C*		ИТ, (мг/г*ч)*10 ⁻⁴ ТТ, (мг/г*ч)*10 ⁻⁴	Весов. доля листьев, % Weight fraction of leaves, %	Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s	ФАР, клк PAR	Влажность возд., % Air humidity, %	Температура Temperature, °C*	
						Почва Soil	Воздух Air						Почва Soil	Воздух Air
Апрель April														
10	9.4 ±4.2	70.03 ±6.22	0.30	92.0	–	3.5 ±0.1	21.5 ±0.5	3.9 ±1.5	67.26 ±1.04	0.2 4	13. 1	–	4.0 ±0.3	12.0 ±1.1
12	15.1 ±6.9	67.74 ±8.44	0.60	99.0	–	3.5 ±0.6	27.5 ±0.6	14.3 ±7.3	69.16 ±9.25	0.1 0	60. 0	–	4.0 ±0.6	16.0 ±0.9
14	6.0 ±1.7	50.65 ±1.03	0.55	90.0	–	4.0 ±0.9	26.5 ±0.5	10.5 ±3.9	65.65 ±4.31	0.1 6	32. 0	–	4.5 ±0.7	17.0 ±0.5
16	5.5 ±2.6	61.36 ±18.3	0.27	13.7	–	4.5 ±0.8	13.5 ±0.3	5.1 ±0.5	69.66 ±3.73	0.2 0	5.1 –	–	5.0 ±0.5	14.5 ±0.6
18	4.1 ±0.7	64.40 ±7.55	0.10	5.0	–	4.5 ±0.5	10.0 ±0.4	2.4 ±0.8	67.11 ±1.25	0.0 0	1.7 –	–	5.0 ±0.3	12.0 ±0.3
Май May														
08	7.6 ±1.3	70.81 ±4.01	0	75.3	78	10.0 ±1.0	19.0 ±1.3	12.1 ±3.4	69.91 ±11.8 5	0	35. 6	75	9.0 ±0.9	17.5 ±0.6
10	7.0 ±3.3	71.41 ±2.91	0.39	95.3	70	10.0 ±1.0	27.0 ±1.0	12.7 ±5.1	67.97 ±21.8 8	0	21. 5	79	9.0 ±1.0	21.5 ±0.9
12	7.2 ±2.6	76.35 ±1.22	0.66	100	67	10.5 ±0.8	32.0 ±0.9	6.1 ±2.8	69.75 ±4.25	0.3 5	52. 3	63	9.5 ±1.0	25.5 ±1.0
14	8.5 ±2.5	74.96 ±10.1	0.01	55.8	47	11.0 ±0.7	32.0 ±0.6	6.2 ±3.2	71.70 ±1.20	0.1 8	28. 0	57	10.0 ±0.7	25.5 ±0.8
16	5.2 ±3.0	80.57 ±8.50	0.49	29.3	58	12.0 ±0.5	29.0 ±0.3	4.1 ±1.9	66.20 ±7.07	0	5.7	64	10.0 ±0.6	26.0 ±0.5
18	2.0 ±1.0	80.72 ±4.62	0.34	9.0	79	12.0 ±0.3	21.5 ±0.5	3.4 ±1.7	77.87 ±5.36	0	1.8	70	10.5 ±0.3	23.0 ±0.4
Июль July														
10	4.8 ±1.2	64.28 ±3.51	0	70.3	57	17.5 ±0.9	26.0 ±1.2	11.1 ±5.8	64.0 ±3.72	0	7.8	69	14.5 ±0.9	21.5 ±0.7
12	7.9 ±4.6	67.17 ±4.28	2.9	36.5	64	18.5 ±0.9	26.0 ±1.1	7.0 ±0.6	76.62 ±4.31	0	4.3	64	14.8 ±0.9	22.0 ±0.6

14	8.8 ±2.9	67.44 ±5.12	1.9	28.1	78	19.0 ±0.7	26.0 ±0.9	6.9 ±1.7	69.38 ±9.5	0	2.9	74	15.0 ±0.8	22.0 ±0.7
16	5.5 ±1.9	72.57 ±8.54	0	39.6	81	19.5 ±0.5	23.0 ±0.4	5.8 ±2.4	78.40 ±6.7	0	1.8	86	15.0 ±0.5	21.5 ±0.5
18	4.5 ±0.4	65.61 ±3.47	0	10.2	76	19.0 ±0.5	22.0 ±0.3	3.9 ±1.8	67.63 ±4.5	0	1.9	81	15.0 ±0.5	20.5 ±0.3
Сентябрь September														
10	0.9 ±0.5	71.2 ±7.26	0	20.6	82	10.0 ±1.2	27.0 ±0.9	3.0 ±1.2	63.53 ±5.99	0	3.6	78	9.0 ±1.0	21.5 ±0.8
12	6.1 ±3.7	60.14 ±5.93	0.41	49.4	58	10.5 ±0.9	32.0 ±0.7	3.6 ±0.7	64.23 ±3.05	0.1	12. 7	62	9.5 ±0.9	25.5 ±0.7
14	1.9 ±0.5	56.47 ±13.0	0	18.6	76	11.0 ±0.6	32.0 ±0.5	4.1 ±2.5	67.71 ±4.21	0	4.5	77	10.0 ±0.5	25.5 ±0.4
16	3.6 ±1.6	55.17 ±10.0	0	10.1	70	12.0 ±0.7	29.0 ±0.5	1.8 ±0.6	61.73 ±4.66	0	1.0	72	10.0 ±0.5	26.0 ±0.3
18	1.3 ±0.6	68.55 ±2.93	0	3.4	85	12.0 ±0.5	21.5 ±0.3	4.9 ±1.3	55.69 ±0.46	0	0.5	72	10.5 ±0.5	23.0 ±0.3

Примечание: ИТ – интенсивность транспирации, (мг/г*ч)*10⁻⁴, * – температура почвы на глубине 10 см, температура воздуха – на уровне цветоносов вереска, М±m (среднее±СКО).

Note: TI – transpiration intensity, (mg/g*h)*10⁻⁴, * – soil temperature at 10 cm depth, air temperature – at heather peduncles level, M±m (average value±Standard deviation).

Источник: собственные вычисления авторов.

Source: own calculations.

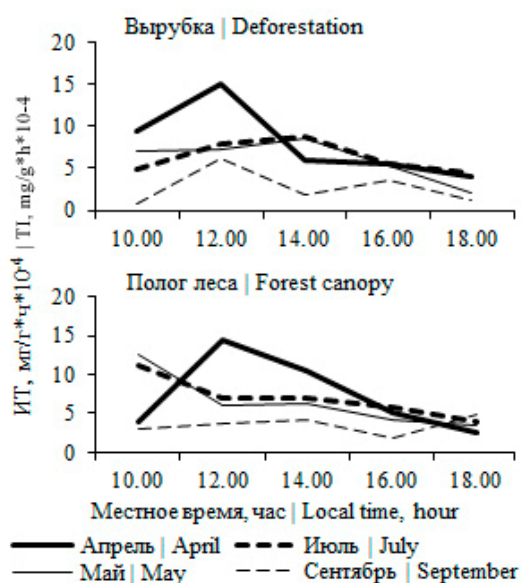


Рисунок 2. Динамика интенсивности транспирации вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) в течение светового дня в условиях вырубки и под пологом леса за вегетационный период 2016 г. в северной лесостепи Зауралья

Figure 2. Transpiration dynamics intensity *C. vulgaris* during daylight hours at deforestation and under the

forest canopy for the growing season 2016 in the northern forest-steppe of the Trans-Urals.

Источник: собственные вычисления авторов.

Source: own calculations.

Начиная с мая, на фоне интенсивной длительной засухи и крайне высокой температуры воздуха в дневные часы (в 12–14 ч – 32 °С) влажность транспирирующих листьев на побегах, по сравнению с апрелем, уменьшилась на 33%, а в июле на 48%. В связи с этим ИТ к 12 ч дня в мае и уже с 10 ч утра, а в июле только на открытом месте из-за водного дефицита в листьях уже с утра до 12 ч была минимальной (всего 7–8 мг/г*ч×10⁻⁴) и еще более падала к вечеру (до 2–4 мг/г*ч×10⁻⁴). Вследствие дефицита влаги в тканях, усугубляемой корневой конкуренцией древостоя (см. табл. 1), еще меньшей интенсивностью, даже в утренние часы, отличалась л-тняя транспирация у вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) под пологом леса (3–5 мг/г*ч×10⁻⁴).

Таблица 2

Корреляции интенсивности транспирации с ФАР и температурой воздуха в апреле ($p < 0,05$)

Table 2

Correlations of transpiration intensity in April ($p < 0.05$)

	ФАР PAR	T, °C	Вырубка Deforestation	Полог леса Forest canopy
ФАР PAR	1	0,34	0,81	0,96
T, °C	0,34	1	0,69	0,60
Вырубка Deforestation	0,81	0,69	1	0,11
Полог леса Forest canopy	0,96	0,60	0,11	1

Примечание: ФАР – фотосинтетически активная радиация, клк; T, °C – температура воздуха, °C

Note: PAR – Photosynthetically available radiation, clc; T, °C – air temperature, °C.

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations.

При сравнении параметров ИТ (Tukey test, $p < 0,05$) в различные месяцы внутри одной группы (под пологом леса или же на вырубке) в ходе анализа ANOVA, выявили, что транспирация достоверно отличается только в апреле и августе под пологом леса. Остальные точки демонстрируют недостоверные различия, что нашло свое отражение на графике (рис. 3). ИТ постепенно изменяется в сторону снижения к августу как под пологом леса, так и на вырубке.

Влажность листьев на терминальных побегах вереска с 79.7% в апреле 2016 г. (сразу после схода снега) опустилась до 52.2% в мае и до 46.4% в июле, хотя в сентябре вновь возросла до 53.5% (табл. 3). Активная жизнедеятельность растений возможна только при высокой обводненности их тканей. Обводненность вереска на открытом месте в течение сезона была выше, чем под пологом древостоя.

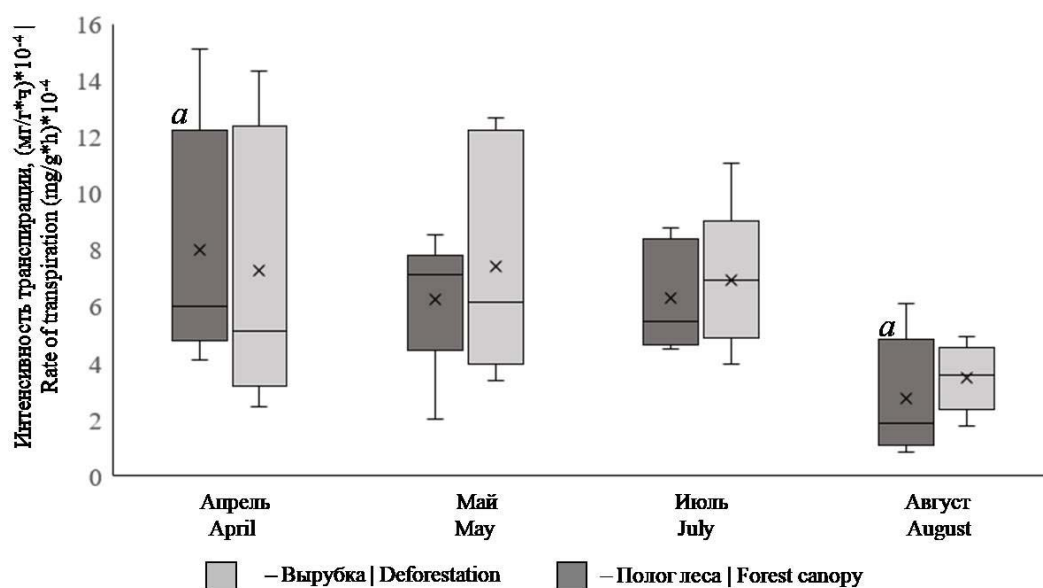


Рисунок 3. Визуализация среднемесячных значений ИТ, измеренных в течение вегетационного периода 2016 г. на вырубке и под пологом леса в северной лесостепи Зауралья, где а – статистически значимо различающиеся группы (Tukey test, $p < 0,05$).

Figure 3. Visualization of monthly average IT values measured during the 2016 growing season at deforestation and under the forest canopy in the northern forest-steppe of the Trans-Urals, where a are statistically significantly different groups (Tukey test, $p < 0,05$).

Источник: собственные вычисления авторов.
Source: own calculations

Таблица 3
Сезонная обводненность листьев вереска обыкновенного (*C. vulgaris*) в подзоне северной лесостепи Зауралья

Table 3
Leaves seasonal watering *Calluna vulgaris* in the subzone of the Trans-Urals northern forest-steppe

Месяц Month	Вырубка Deforestation, %	Полог леса Forest canopy, %
Апрель April	69.4±5.4	79.7±5.2
Май May	61.1±2.6	52.2±0.6
Июль July	63.7±13.7	46.4±2.3
Сентябрь September	67.2±4.8	53.5±5.5

Примечание: M±m (среднее±СКО).

Источник: собственные вычисления авторов

Note: M±m (average value±Standard deviation).

Source: own calculations

Это можно объяснить формированием на открытом месте больших куртин *C. vulgaris*, которые поддерживали микроклимат, и высок-й долей участия растений лугового сообщества, порой превышающие *C. vulgaris* высотой. Кроме того, на открытой вырубке отметили выпадение большего количества росы, чем под пологом леса. Под пологом древостоя куртины *C. vulgaris* более разрозненные, выше уровня основной массы растений живого напочвенного покрова/зеленых мхов, в условиях хронического дефицита почвенной влаги и, как следствие, имели меньшую обводненность листьев. Изучение механизмов транспирации растений и их взаимосвязи с особенностями морфо-анатомического строения лист, имеет большое значение для понимания экологической устойчивости и адаптации к климатическим изменениям. Исследования морфо-анатомических параметров листьев популяций вереска в Зауралье выявили тренд некоторого достоверного увеличения их ксероморфизма – толщины кутикулы и клеток эпидермы, снижения плотности устьиц и трихом, а также их переориентацию

на обратную сторону листовой пластинки [14], что является адаптацией к более сухому атмосферному воздуху

Обсуждение

Динамика среднегодовой температуры в трех точках лесостепной подзоны Курган (Россия), Петропавловск и Кокшетау (Казахстан) свидетельствует об увеличении значений среднегодовых температур за последние 70 лет, а также сближении погодных условий Кургана и Петропавловска (см. рис. 1). Повышение среднегодовой температуры в 20-х годах XXI по сравнению с 50-ми годами XX на 2,9 °С в Кургане (с 0,98°С до 3,85 °С) и на 3–3,3 °С (с 0,34°С до 3,65°С в Петропавловске, с 1,32°С до 4,35°С в Кокшетау) происходит вследствие повышения температуры воздуха в зимний период при сохранении зональных особенностей, а также в результате увеличения суммы атмосферных температур за весенне-летний период (рис. 4). Динамика сумм температур атмосферного воздуха за вегетационный период показывает, что происходит выравнивание климатических условий Зауралья (Курган) и Северного Казахстана (Петропавловск) в лесостепной зоне.

Среднегодовая температура воздуха в Зауралье в 2016 (3,0 °С) равна среднему значению за предыдущий десятилетний период за 2006-2016 гг. (3,04 ± 0,65 °С). Максимум среднегодовой температуры пришелся на 2008 год, а минимум – 2011 год, при этом сумма среднемесячных температур за вегетационный период с апреля по сентябрь оказалась сходной и составила 85,2 °С. В 2016 году сумма среднемесячных температур за вегетационный период приблизилась к самому жаркому за 10-летний период наблюдений 2012 году – 92,7°С и 97,9°С, соответственно (рис. 5).

Наблюдения за динамикой среднегодовых температур воздуха указывают на скачкообразное увеличение значений, что, вероятно, может стать причиной остепнения лесостепной зоны Зауралья и трансформации состава растительных сообществ. Достаточно жаркий вегетационный период 2016 г. позволяет оценить устойчивость растений вереска к засушливому климату.

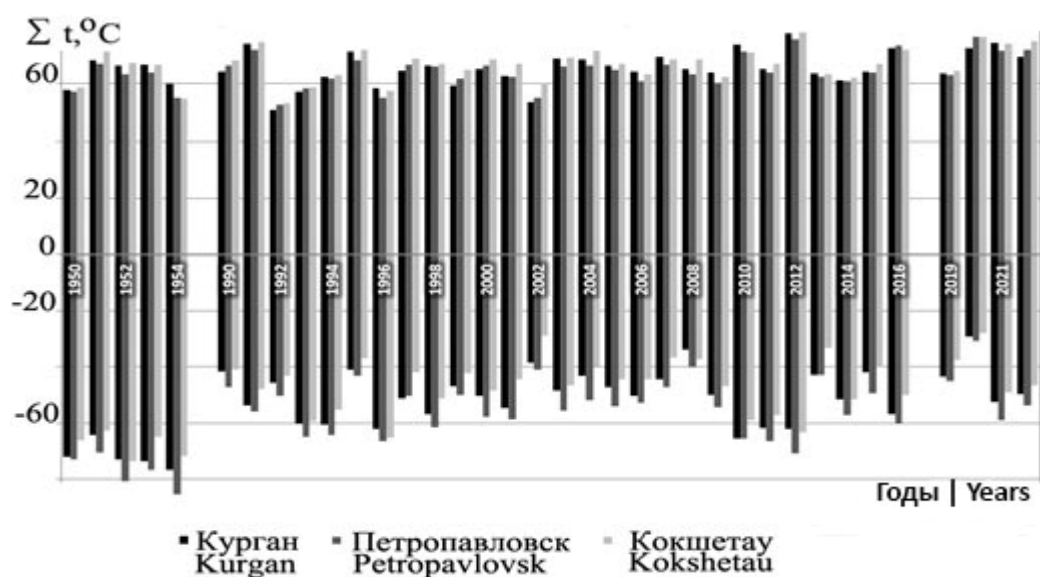


Рисунок 4. Динамика летних и зимних температур (Σt , °C) в Зауралье (Курган) и Северном Казахстане (Петропавловск, Кокшетау).

Figure 4. Summer and winter temperatures dynamics (Σt , °C) in the Trans-Urals (Kurgan) and Northern Kazakhstan (Petropavlovsk, Kokshetau).

Источник: сайт «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru>)

Source: Website of Pogodaiklimat .ru.

При закрытых устьицах во время засухи резко сокращаются не только процессы транспирации, но и фотосинтеза [20], что приводит к угнетению ростовых процессов. Вероятно, именно это угнетение и является главным фактором, детерминирующим расселение вереска к югу от предлесостепи в Западной Сибири [12, 13]. Кроме того, исследование уровня семеношения *C. vulgaris* в борах северной лесостепи, показало, что семенная продуктивность популяций вереска в данном регионе снижается, по сравнению с европейской частью сплошного ареала данного вида [21]. Было исследовано, что под пологом сомкнутого древостоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в северной лесостепи средняя урожайность семян вереска в несколько раз ниже ($1673,14 \pm 561,4$ шт.), чем на открытой вырубке ($17067,3 \pm 6150,7$ шт.). В работе О.Е. Черепановой (2023) [14], основным фактором, оказывающим определяющее влияние на формирование числа коробочек под пологом леса, указывается снижение общей освещенности.

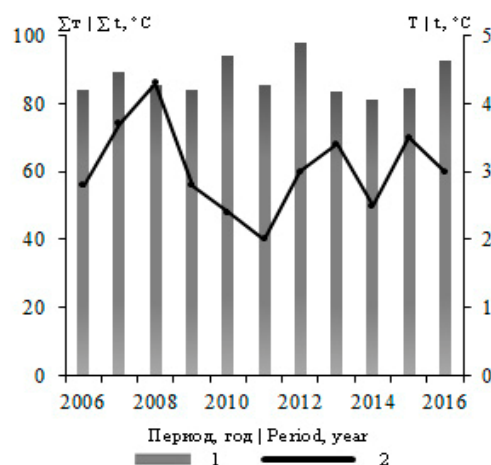


Рисунок 5. Десятилетняя динамика изменения среднегодовой температуры в подзоне северной лесостепи Зауралья

Figure 5. The average annual temperature ten-year dynamics changes in the subzone of the northern forest-steppe of the Trans-Urals

Примечание: 1 – Сумма средних температур за вегетационный период, °C, 2 – Среднегодовая температура, °C.

Note: 1 – Sum of the average temperatures during the growing season, °C, 2 – Average annual temperature, °C.

Источник: сайт «Погодные сервисы» [18]

Source: Website pogoda-service.ru

В 2022 г. было проведено маршрутное исследование территорий лесостепного Зауралья с целью выявления новых локалитетов, кроме того, как и в 2016 г., проведена оценка состояния популяций. Отмечено, что в степных участках открытой вырубке экземпляры вереска сохранились в удовлетворительном состоянии только под пологом соснового подроста. Повышение среднегодовой температуры только с 2016 по 2022 гг. примерно на 1°C привело к гибели зарослей вереска на открытых местообитаниях, где важнейшим лимитирующим фактором оказывается солнечная инсоляция, что свидетельствует о конкурентной неустойчивости вереска в составе остепненных фитоценозов. Под пологом сосновых лесов, где видовое разнообразие значительно ниже, популяции вереска способны выживать, адаптируясь к высокой степени затенения.

Известно, что постепенное повышение температуры воздуха может привести к снижению свободной воды в тканях листа, необходимой для транспирации растений и успешного протекания процесса фотосинтеза [21, 22]. При дальнейшей аридизации климата северной лесостепи Зауралья дефицит свободной воды в тканях растения вереска может привести к снижению скорости фотосинтеза, что негативно отразится на всей популяции в целом и может привести к выпадению вереска из состава лесных сообществ. Сближение климата Зауралья и Северного Казахстана, повышение среднегодовых температур в регионе угрожает смещением границы распространения вереска.

Заключение

Достоверные значимые среднемесячные различия ИТ в течение вегетационного периода 2016 г. ($p < 0,05$, см. рис. 3) наблюдали в апреле и в августе под пологом соснового древостоя. Остальные месяцы исследований статистически значимых различий не показали.

В целом, в условиях засушливого климата-в северной лесостепи Зауралья на юге ареала вереска в экстремальном вегетационном периоде 2016 г., лишь в самом его начале (в апреле), когда почвенный субстрат еще достаточно обеспечен талой влагой (особенно под пологом леса) наблюдается нормальный суточный ход ИТ с максимумом в полуденные часы и его корреляция с ФАР и температурой воздуха. В обычные здесь периоды длительных летних засух (под пологом леса усугубляемых корневой конкуренцией древостоя) [19] ИТ вереска (и, следовательно, синхронно с ней и процесс фотосинтеза) днем и вечером снижаются в несколько раз. В центральной части ареала вереск произрастает на открытых участках, но в соседстве с зелеными мхами в понижении рельефа. С продвижением в глубь континента, частота встречаемости вереска резко снижается [14]. Предполагаем, что определяющие значение здесь играет общее понижение атмосферной влажности и повышение температуры в дневные часы.

Список литературы

1. Shi L., Liu H., Wang L., Peng R., He H., Liang B., Cao J. Transitional responses of tree growth to climate warming at the southernmost margin of high latitudinal permafrost distribution, *Science of The Total Environment*, 2023, 168503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168503>.
2. Grau-Andrés R., Matt Davies G., Waldron S., Scott E. M., Gray A. Increased fire severity alters initial vegetation regeneration across *Calluna*-dominated ecosystems, *Journal of Environmental Management*. 2019; 231: 1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.113>.
3. Log T. Modeling drying of degenerated *Calluna vulgaris* for wildfire and prescribed burning risk assessment. *Forests*. 2020; 11: 759-765. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11070759>.
4. Schellenberg J., Bergmeier E. The *Calluna* life cycle concept revisited: implications for heathland management. *BiodiversConserv*. 2022; 31: 119–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02325-1>.
5. Gen S., Stanley M.J. Whole leaf comparative study of stomatal conductance models. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.766975>

6. Hagedorn F., Dawes M.A., Bubnov M.O., Devi N.M., Grigoriev A.A., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., Moiseev P.A., Nagimov Z.Y. Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit. *Journal of Biogeography*. 2020; 47(8): 1827-1842. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13867>.
7. Potter C., Changes in vegetation cover of the arctic national wildlife refuge estimated from modis greenness trends. *Earth Interact*. 2019; 23: 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1175/EI-D-18-0018.1>.
8. Napier J.D, De Lafontaine G, Hu F.S. Exploring genomic variation associated with drought stress in *Picea mariana* populations. *Ecol Evol*. 2020; 10(17): 9271-9282. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.6614>
9. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018; 1 (367): 168-184. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35138146>
10. Eynaud F., Verdin F., Mary Y., Beaudouin C., López-Romero E., Penaud A., Colin Ch., Culioli C. Holocene climate dynamics on the European scale: Insights from a coastal archaeological record from the temperate Bay of Biscay (SW France). *Quaternary International*. 2022; 613: 46-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.09.018>.
11. Liu W., Wang G., Yu M., Chen H., Jiang Y. Multimodel future projections of the regional vegetation-climate system over East Asia: Comparison between two ensemble approaches. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020; 125: e2019JD031967. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD031967>
12. География Курганской области: краеведческое пособие / И.В. Абросимова, Т.Г. Акимова, О.В. Аршевская [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Курганский государственный университет, Зауральское отделение Русского географического общества; [ред.коллегия: Н.И. Науменко, О.Г. Завьялова, Т.Г. Акимова]. Издательство Курганского государственного университета. 2019; 275. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41555104>
13. Эбель А.Л., Эбель Т.В., Зыкова Е.Ю., Михайлова С.И. Флористические находки в Западной Сибири и на Южном Урале. *Turczaninowia*. 2022; №3: 207-216. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49541636>
14. Cherepanova O.; Petrova I.; Sannikov S.; Mishchihina Y. Diagnostics and description of a new subspecies of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from Western Siberia. *Horticulturae*. 2023; 9: 386-397. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030386>
15. Третьякова А.С. Редкие лесные растительные сообщества национального парка «Припышминские боры» (Свердловская область). *Экобиотех*, 2020; 3(3): С. 370-378. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44280506>
16. Власенко М.В., Трубакова К.Ю. Водный режим видов семейства *Poaceae* в условиях засухи. *АВУ*. 2019; 11 (190): 2-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41376259>
17. Zhu Y., Cheng Z, Feng K., Chen Z. Cao Ch., Huang J., Ye H., Gao Y. Influencing factors for transpiration rate: a numerical simulation of an individual leaf system. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2022; 27: 101-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101110>.
18. Кочубей А.А. Изучение влияния динамики влажности лесного напочвенного покрова на прорастание семян *Pinus sylvestris* L. с помощью экспериментального "лизиметрического" метода. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2023; 242: 102-114. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50504398>
19. Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V. et al. The forecast of fire impact on *Pinus sylvestris* renewal in southwestern Siberia. *J. For. Res*. 2021; 32: 1911–1919. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01260-1>
20. Nalevanková P, Sitková Z, Kučera J, Štřelcová K. Impact of water deficit on seasonal and diurnal dynamics of European beech transpiration and time-lag effect between stand transpiration and environmental drivers. *Water*. 2020; 12(12): 3437. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12123437>
21. Arrowsmith K. Reynolds C., Briggs V.A., Heather M., Berry J. Community context mediates effects of pollinator loss on seed production. *Ecosphere*. 2023; 14(6): e4569. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4569>

22. Wu X, Zhang R, Bento V.A, Leng S, Qi J, Zeng J, Wang Q. The effect of drought on vegetation gross primary productivity under different vegetation types across China from 2001 to 2020. *Remote Sensing*. 2022; 14(18): 4658. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14184658>.

References

1. Shi L., Liu H., Wang L., Peng R., He H., Liang B., Cao J. Transitional responses of tree growth to climate warming at the southernmost margin of high latitudinal permafrost distribution, *Science of The Total Environment*, 2023, 168503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168503>.
2. Grau-Andrés R., Matt Davies G., Waldron S., Scott E. M., Gray A. Increased fire severity alters initial vegetation regeneration across *Calluna*-dominated ecosystems, *Journal of Environmental Management*. 2019; 231: 1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.113>.
3. Log T. Modeling drying of degenerated *Calluna vulgaris* for wildfire and prescribed burning risk assessment. *Forests*. 2020; 11: 759-765. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11070759>
4. Schellenberg J., Bergmeier E. The *Calluna* life cycle concept revisited: implications for heathland management. *BiodiversConserv*. 2022; 31: 119–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02325-1>
5. Gen S., Stanley M.J. Whole leaf comparative study of stomatal conductance models. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.766975>
6. Hagedorn F., Dawes M.A., Bubnov M.O., Devi N.M., Grigoriev A.A., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., Moiseev P.A., Nagimov Z.Y. Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit. *Journal of Biogeography*. 2020; 47(8): 1827-1842. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13867>.
7. Potter C., Changes in vegetation cover of the arctic national wildlife refuge estimated from modis greenness trends. *Earth Interact*. 2019; 23: 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1175/EI-D-18-0018.1>.
8. Napier J.D, De Lafontaine G, Hu F.S. Exploring genomic variation associated with drought stress in *Picea mariana* populations. *Ecol Evol*. 2020; 10(17): 9271-9282. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.6614>
9. Bajsholanov S.S., Pavlova V.N., ZHakieva A.R., Chernov D.A., Gabbasova M.S. Agroklimaticheskie resursy Severnogo Kazakhstana. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*. 2018; 1 (367): 168-184. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35138146>
10. Eynaud F., Verdin F., Mary Y., Beaudouin C., López-Romero E., Penaud A., Colin Ch., Culioli C. Holocene climate dynamics on the European scale: Insights from a coastal archaeological record from the temperate Bay of Biscay (SW France). *Quaternary International*. 2022; 613: 46-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.09.018>.
11. Liu W., Wang G., Yu M., Chen H., Jiang Y. Multimodel future projections of the regional vegetation-climate system over East Asia: Comparison between two ensemble approaches. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020; 125: e2019JD031967. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD031967>
12. Geografiya Kurganskoj oblasti: kraevedcheskoe posobie / I.V. Abrosimova, T.G. Akimova, O.V. Arshevskaya [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Kurganskij gosudar-stvennyj universitet, Zaural'skoe otdelenie Russkogo geograficheskogo obshchestva; [red.kollegiya: N.I. Naumenko, O.G. Zav'yalova, T.G. Akimova]. Izdatel'stvo Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. 2019; 275. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41555104>
13. Ebel' A.L., Ebel' T.V., Zykova E.YU., Mihajlova S.I. Floristicheskie nahodki v Zapadnoj Sibiri i na YUzhnom Urale. *Turczaninowia*. 2022; №3: 207-216. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49541636>
14. Cherepanova O.; Petrova I.; Sannikov S.; Mishchihina Y. Diagnostics and description of a new subspecies of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from Western Siberia. *Horticulturae*. 2023; 9: 386-397. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030386>
15. Tret'yakova A.S. Redkie lesnye rastitel'nye soobshchestva nacional'nogo parka «Pripyshmin-skie bory» (Sverdlovskaya oblast'). *Ekobiotekh*, 2020; 3(3): S. 370-378. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44280506>

16. Vlasenko M.V., Trubakova K.YU. Vodnyj rezhim vidov semejstva Poaceae v usloviyah zasuhi. AVU. 2019; 11 (190): 2-8. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41376259>
17. Zhu Y., Cheng Z, Feng K., Chen Z. Cao Ch., Huang J., Ye H., Gao Y. Influencing factors for transpiration rate: a numerical simulation of an individual leaf system. Thermal Science and Engineering Progress. 2022; 27: 101-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101110>.
18. Kochubej A.A. Izuchenie vliyaniya dinamiki vlazhnosti lesnogo napochvennogo pokrova na pro-rastanie se-myan *Pinus sylvestris* L. s pomoshch'yu eksperimental'nogo "lizimetricheskogo" metoda. Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2023; 242: 102-114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50504398>
19. Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V. et al. The forecast of fire impact on *Pinus sylvestris* renewal in southwestern Siberia. J. For. Res. 2021; 32: 1911–1919. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01260-1>
20. Nalevanková P, Sitková Z, Kučera J, Střelcová K. Impact of water deficit on seasonal and diurnal dynamics of European beech transpiration and time-lag effect between stand transpiration and environmental drivers. Water. 2020; 12(12): 3437. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12123437>
21. Arrowsmith K. Reynolds C., Briggs V.A., Heather M., Berry J. Community context mediates effects of pollinator loss on seed production. Ecosphere. 2023; 14(6): e4569. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4569>
22. Wu X, Zhang R, Bento V.A, Leng S, Qi J, Zeng J, Wang Q. The effect of drought on vegetation gross primary productivity under different vegetation types across China from 2001 to 2020. Remote Sensing. 2022; 14(18): 4658. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14184658>

Сведения об авторах

✉ *Кочубей Алена Анатольевна* – кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории Популяционной биологии древесных растений и динамики леса, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8568-9999>, e-mail: 79326010873@yandex.ru.

Черепанова Ольга Евгеньевна – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории Популяционной биологии древесных растений и динамики леса, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7775-6488>, e-mail: botgarden.olga@gmail.com.

Петрова Ирина Владимировна – доктор биол. наук, зав. лабораторией Популяционной биологии древесных растений и динамики леса, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5689-8452>, e-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru

Information about the authors

✉ *Alena A. Kochubej* – candidate of biological sciences, researcher of laboratory of Population biology of woody plants and forest dynamics, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, March 8 st., 202a, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8568-9999>, e-mail: 79326010873@yandex.ru.

Olga E. Cherepanova – candidate of biological sciences, senior researcher of laboratory of Population biology of woody plants and forest dynamics, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, March 8 st., 202a, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7775-6488>, e-mail: botgarden.olga@gmail.com.

Irina V. Petrova – doctor of biological Sciences, head of laboratory of Population biology of woody plants and forest dynamics, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, March 8 st., 202a, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5689-8452>, e-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru

✉ – Для контактов | Corresponding author